Absolute Geschwindigkeitsmessungen mit Hitzdrähten in stehenden Schallwellen

---

Von der

Technischen Hochschule zu Breslau

zur

Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs

genehmigte Dissertation

Vorgelegt von

Dipl.-Ing. **Hans Müller**

aus Breslau

Verlagsbuchhandlung Julius Springer in Berlin

1930

Referent: Prof. Dr. E. Waetzmann

Korreferent: Prof. Dr. F. Noether

Tag der mündlichen Prüfung: 24. Januar 1930

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Sonderabdruck aus „Zeitschrift für Physik“, Band 62, Heft 3/4

§ 1. Fragestellung. Vor einiger Zeit haben Goldbaum und Waetzmann* über Geschwindigkeitsmessungen mit erhitzten Drähten in stehenden Luftwellen berichtet. Dabei waren an dem periodischen Kühleffekt nur relative, an dem konstanten auch absolute Messungen ausgeführt worden.

Zur Orientierung sei kurz daran erinnert, daß mit einem nicht vorgeheizten Wollastondraht die adiabatischen Temperaturschwankungen in einer Schallwelle (in v. Hippels** Bezeichnung „Knoteneffekt") gemessen werden können***, während die Geschwindigkeitsschwankungen (in v. Hippels Bezeichnung „Schwingungseffekt" und „Konvektionsstromeffekt") durch die Abkühlung vorgeheizter Drähte gemessen werden. Im letzten Falle hat man einen zeitlich konstanten und einen periodischen Kühleffekt zu unterscheiden, von denen der periodische Effekt noch in einen Grundton- und einen Obertoneffekt zerfällt.

Der Wert der Messungen liegt darin, daß sie genauen Aufschluß über die Schwingungs- und Strömungsvorgänge in Schallwellen geben, und daß sie innerhalb gewisser Grenzen geeignet sind, Schallintensitäten zu bestimmen. Zur punktweisen Ausmessung von Schallfeldern, zum Abtasten der Luftbewegung an Resonatoröffnungen usw. sind ganz kurze Drähte zu verwenden.

Goldbaum und Waetzmann fanden eine systematische Frequenzabhängigkeit des konstanten Kühleffektes. Ferner stellten sie einen recht komplizierten Zusammenhang zwischen der Kühlwirkung bei Luftgleich-

* G. Goldbaum und E. Waetzmann, ZS. f. Phys. **54**, 179, 1929.
** A. v. Hippel, Ann. d. Phys. **75**, 521, 1924; **76**, 590, 1925.
*** J. Friese und E. Waetzmann, ZS. f. Phys. **31**, 50, 1925.

strom und bei Luftwechselstrom fest. Da diese Resultate mit Meßergebnissen von Richards, Richardson und Spaeth sowie mit theoretischen Erwägungen von Kietz* in Widerspruch stehen, und da auch ungeklärte Widersprüche zwischen Richards und Richardson einerseits und Spaeth andererseits vorliegen, mußten die Messungen wiederholt werden. Es sei vorweg bemerkt, daß die Goldbaum-Waetzmannschen Beobachtungen vollauf bestätigt wurden. Leider fehlen bei den erstgenannten Autoren teilweise wichtige Angaben über Drahttemperatur, Art der Gleichstromeichung, Empfindlichkeit der Meßanordnung usw., so daß eine vergleichende Diskussion der Ergebnisse im einzelnen schwer möglich ist.

Ferner sollte der periodische Kühleffekt, für den bisher nur Relativmessungen vorliegen, bei verschiedenen Frequenzen und verschiedenen

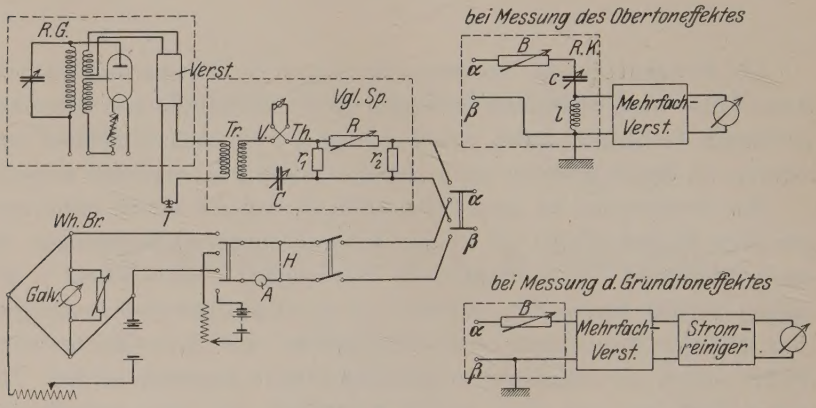

Fig. 1.

Temperaturen — getrennt nach Oberton- und Grundtoneffekt — absolut gemessen werden. Wenn eine theoretische Behandlung des Kühleffektes auch noch nicht gelungen ist, so schien es doch wichtig, die in Frage stehenden Probleme wenigstens experimentell nach Möglichkeit zu klären.

§ 2. Versuchsanordnung. Sie lehnt sich eng an die von Friese-Waetzmann und Goldbaum-Waetzmann benutzten Anordnungen an. Um Wiederholungen zu vermeiden, muß bezüglich aller Einzelheiten auf die zitierten Arbeiten verwiesen werden.

In Fig. 1 ist der elektrische Aufbau skizziert. Die stehenden Schallwellen werden durch ein von einem Röhrengenerator *RG* betriebenes Telephon *T* in einem mittels Auszugs abstimmbaren Rohre erzeugt, an

* H. Kietz, Phys. ZS. **30**, 145, 1929. Bezüglich der gesamten früheren Literatur sei auf die Arbeit von Goldbaum und Waetzmann verwiesen.

dessen gedacktem Ende ein Wiensches Membranmanometer angebracht war. Es dient zur Messung der Druckamplitude, womit unter bestimmten Voraussetzungen auch die Geschwindigkeitsamplitude gegeben ist. Gleichzeitig können an der Breite und dem Aussehen des Lichtbandes die Resonanzabstimmung des Rohres und die Tonreinheit kontrolliert werden. Gelegentliche Vergleichsversuche mit der Rayleighschen Scheibe zeigten, daß das Membranmanometer für die vorliegenden Zwecke genügend genau arbeitet.

Zur Messung des konstanten Kühleffektes lag der Hitzdraht H zusammen mit einem Milliamperemeter A im vierten Zweige einer Wheatstoneschen Brücke Wh Br, dessen Strom gleichzeitig den Heizstrom bildete. Die dabei benutzte Meßbrücke gestattete, den Widerstand des Hitzdrahtes auf $^1/_{100}$ Ohm genau zu bestimmen. Als Nullinstrument diente ein Drehspul-Spiegelgalvanometer mit variabler Empfindlichkeit.

Als Hitzdrähte wurden Platin-Wollastondrähte von 0,004 mm Durchmesser und 18 mm Länge* benutzt. Die Temperatur wurde aus Widerstand und Temperaturkoeffizient ermittelt. Für einen viel benutzten Hitzdraht, auf den sich die im folgenden angegebenen Kurven beziehen, war der Ruhewiderstand $R_0 = 212{,}82$ Ohm und der Temperaturkoeffizient $\alpha = 3{,}032 \cdot 10^{-3}$; d. h. einer Temperaturänderung um 1^0 entspricht eine Widerstandsänderung um 0,64 Ohm, oder umgekehrt einer Widerstandsänderung um 1 Ohm entspricht eine Temperaturänderung um $1{,}56^0$.

Zur Messung des periodischen Kühleffektes wurde der Hitzdraht aus der Brückenschaltung herausgenommen und mit dem Milliamperemeter, an dem der Heizstrom kontrolliert wurde, unter Vorschaltung eines Widerstandes an eine besondere Heizbatterie gelegt. Dieser Widerstand wurde groß (ungefähr 3560 Ohm) gewählt, damit die in dem Draht entstehenden Wechselströme nicht über die Heizbatterie, sondern nur nach der Meßapparatur abfließen.

Die in dem Hitzdraht entstehenden Wechselspannungen werden durch einen Resonanzkreis RK bzw. Stromreiniger nach Grund- und Oberton getrennt, verstärkt und einzeln gemessen. Zur Isolierung des Obertoneffektes wurde der aus der variablen Kapazität c und dem Selbstinduktionsnormal l ($= 0{,}2$ Henry) bestehende Resonanzkreis auf den Oberton abgestimmt, und die Spannung wurde an l abgenommen, weil bei Obertonabstimmung des RK die Spannung des Grundtones am kleinsten an der Selbstinduktion ist. Der Grundtoneffekt ist schwerer zu isolieren, weil er relativ zum Obertoneffekt kleiner ist. Zur Beseitigung des Obertones wurde der sieben-

* E. Waetzmann, M. Gnielinski und H. Heisig, ZS. f. Phys. **58**, 449, 1929.

stufige Stromreiniger der Siemens & Halske A. G. benutzt. Der Verstärker war ein Mehrfachverstärker in *CW*-Schaltung (Sonderanfertigung der Siemens & Halske A. G.) mit drei Vorröhren und einem Endrohr. Am Ende lag als Meßinstrument entweder ein Hitzdraht-Milliamperemeter (Meßbereich 10 bis 60 mA) oder ein Vakuum-Thermcelement mit Gleichstromgalvanometer (Meßbereich 0 bis 15 mA). Die für die Absolutmessungen nötige Vergleichsspannung wurde über den Transformator *Tr* mit möglichst lose gekoppelten Spulen ebenfalls dem Röhrensender entnommen. Die Sekundärspule bildete zusammen mit einem Widerstand r_1 von 1 Ohm und einem Kondensator C einen Resonanzkreis, der mit Hilfe von C abgestimmt werden konnte. Der in ihm fließende Wechselstrom i wurde durch ein Vakuum-Thermoelement *V Th* mit Gleichstromgalvanometer gemessen. Von r_1 wurde über einen variablen Widerstand R und einen Widerstand r_2 von 0,1 Ohm abgezweigt. Die an r_2 liegende Wechselspannung war die zur Messung verwendete Vergleichsspannung, die sich ergibt zu

$$e = \frac{i\, r_1\, r_2}{R + r_1 + r_2}.$$

Der Hitzdraht stellt, wenn er sich im Schallfelde befindet, eine Wechselstromquelle mit einem bestimmten inneren Widerstand und einer bestimmten elektromotorischen Kraft dar. Um ihn bei Benutzung der Vergleichsspannung folgerichtig zu ersetzen, mußte in Reihe mit dem Widerstand r_2, an dem die Vergleichsspannung abgenommen wurde, ein variabler Widerstand B geschaltet werden. Dieser wurde gleich dem jeweiligen Widerstand des Hitzdrahtes bei erregter Schallschwingung gemacht.

Bei den Untersuchungen über den periodischen Kühleffekt handelte es sich um die Messung von Wechselspannungen bis zu der Größenordnung 10^{-4} Volt herab. Es war also erforderlich, alle Störspannungen gründlich zu beseitigen. Zu diesem Zwecke wurde der Sender einschließlich Verstärker in einem geerdeten Eisenkasten untergebracht (in der Figur durch gestrichelte Linien angedeutet). In einem zweiten Eisenkasten befanden sich der Resonanzkreis und die Widerstände, die zur Messung und Abnahme der Vergleichsspannung dienen; in einem dritten der Siebkreis mit zugehörigem Widerstand und Umschaltern. Der Mehrfachverstärker war ebenfalls in einen geerdeten Eisenkasten eingebaut. Um ihn vor einer rein akustischen Beeinflussung durch das Erregertelephon zu schützen, wurde er in einem entfernten Zimmer aufgestellt. Sämtliche Wechselstrom führenden Leitungen waren in zweiadrigem Kabel verlegt, dessen Bleimantel geerdet war; ebenso mußte das Gehäuse des Telephons geerdet

werden. Friese und Waetzmann haben in der zitierten Arbeit Kriterien zur Prüfung auf Störungsfreiheit angegeben. Aber selbst dann, wenn alle Kriterien für Störungsfreiheit sprachen, konnten Messungen, bei denen der Verstärker benutzt wurde, nur nachts ausgeführt werden, weil tagsüber immer noch durch die Erde selbst Störungen in die Apparatur hineinkamen.

Um die Abkühlung des Hitzdrahtes in einem Luftgleichstrom zu messen, wurde er an einem horizontalen Arm von etwa 26 cm Länge so befestigt, daß er selbst auch wagerecht lag. Der Arm war um eine senkrechte Achse drehbar; diese wurde unter Zwischenschaltung geeigneter Übersetzungen von einem Elektromotor angetrieben, dessen Tourenzahl weitgehend verändert werden konnte. Um den Hitzdraht vor äußeren Luftströmungen zu schützen, wurde ein abgeschlossener Kasten so aufgestellt, daß sich in diesem nur der (4 mm starke) Arm mit dem Hitzdraht bewegte. Durch ausführliche Meßreihen, bei denen die Länge des Dreharmes, die Drehgeschwindigkeit, die Stellung des Drahtes relativ zum Luftstrom usw. variiert wurden, wurde die Zuverlässigkeit der Eichmethode geprüft. Es wurde auch versucht, den Draht in der Weise auf Luftgleichstrom zu eichen, daß er in einem horizontal gestellten Glasrohr befestigt wurde, durch das (durch Drahtgitter und Watteschichten hindurch) Luft gesaugt wurde. Das Saugen wurde durch Ausfließen von Wasser aus einem Gasometer besorgt. Die Verschiedenartigkeit der Luftgeschwindigkeit über den Querschnitt des Rohres hin ließ sich aber schlecht aus den Endresultaten eliminieren, zumal wegen der Befestigungsvorrichtung des Drahtes keine genügende Symmetrie der Anordnung zu erzielen war. Es wurde deshalb der erstgenannten Methode der Vorzug gegeben.

§ 3. Messung des konstanten Kühleffektes. Zur Orientierung und zur Prüfung der Apparatur wurde der Kühleffekt zunächst bei einer bestimmten Frequenz durch das ganze Schallrohr hindurch in Abständen von je 2 cm gemessen. Es ergaben sich genau die gleichen Kurven, wie sie in den Fig. 3a und 3b bei Goldbaum-Waetzmann angegeben sind.

Sodann wurde der konstante Kühleffekt bei einer bestimmten Frequenz im Schwingungsbauch in Abhängigkeit von der Geschwindigkeitsamplitude gemessen, und diese Messungen wurden bei anderen Frequenzen wiederholt. Die Geschwindigkeitsamplituden wurden aus den Angaben des Membranmanometers errechnet. In den Fig. 2 und 3 sind Beispiele für solche Meßreihen gegeben. Als Abszissen sind die Geschwindigkeitsamplituden v_{max} im Schwingungsbauch aufgetragen, als Ordinaten die Widerstandsänderungen ΔR in Ohm. Die Kurven der Fig. 2 entsprechen einer Drahttemperatur von 30° C, die der Fig. 3 einer Temperatur von 200°. Die Meß-

frequenzen sind $n = 512, 640, 683, 768$ Hertz. Die Kurven zeigen in dem Bereich nicht zu großer Geschwindigkeitsamplituden parabelförmigen Verlauf. Bei beiden Temperaturen ist eine Frequenzabhängigkeit des konstanten Kühleffektes vorhanden; bei einer bestimmten Geschwindigkeitsamplitude wird die Kühlwirkung mit steigender Frequenz kleiner. Diese Tatsache

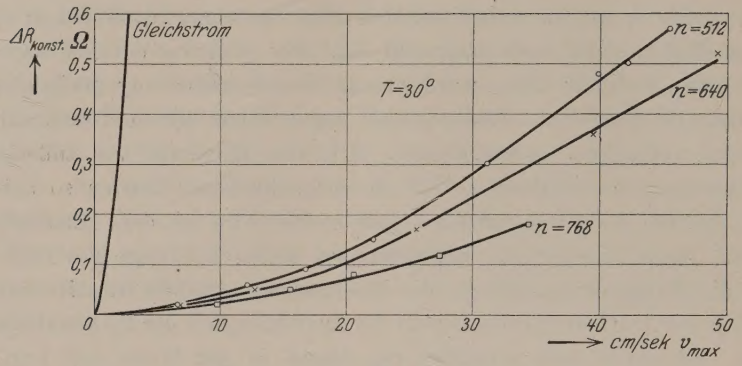

Fig. 2.

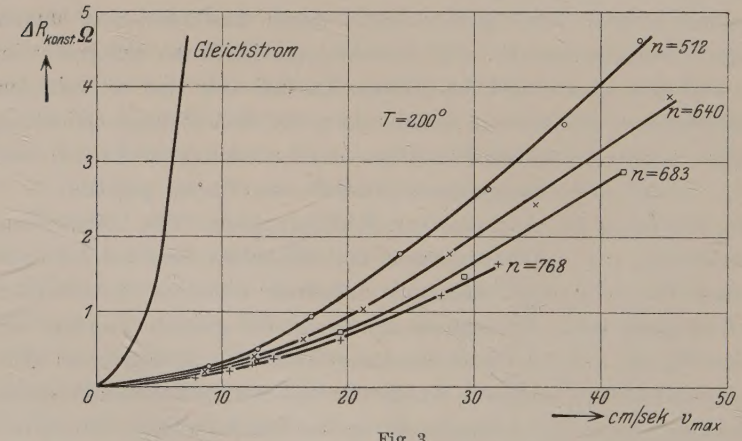

Fig. 3.

läßt sich daraus erklären, daß die Schwingungsamplitude der Luftteilchen bei vorgegebener Geschwindigkeitsamplitude mit wachsender Frequenz kleiner wird; also wird sich dann auch die Kühlwirkung verringern, weil die erwärmten Luftteilchen, die den Hitzdraht umgeben, nicht mehr weit genug fortgeführt werden, um abgekühlt zu werden und dann den Draht wieder zu beeinflussen.

Die Änderung des konstanten Kühleffektes mit der Temperatur bei einer bestimmten Frequenz zeigt Fig. 4, in der die Kurven $\Delta R = f(v_{max})$ für $n = 640$ und die Drahttemperaturen $T = 30, 50, 90, 200^0$ gezeichnet sind.

Will man nun die Messung des konstanten Kühleffektes dazu benutzen, die Geschwindigkeitsamplitude in einer Schallwelle absolut zu bestimmen, so muß man den Hitzdraht in einem Luftgleichstrom eichen. Dann kann man das Verhältnis ermitteln, das zwischen der Geschwindigkeitsamplitude eines Luftwechselstromes und der Geschwindigkeit eines Luftgleichstromes besteht, die die gleiche Abkühlung des Hitzdrahtes bewirken.

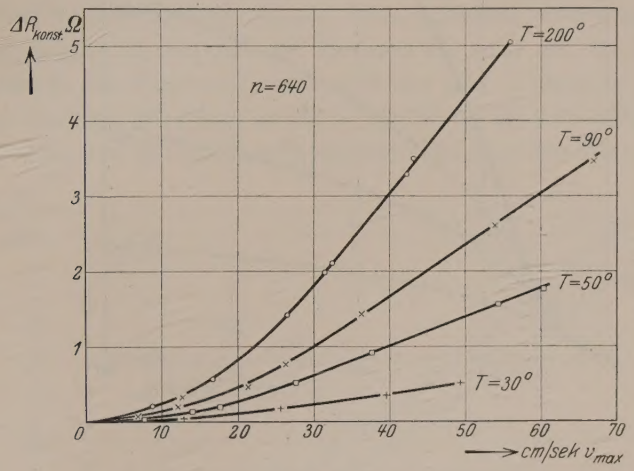

Fig. 4.

Die Ergebnisse der Gleichstromeichungen bei den Temperaturen $T = 30, 50, 90, 200^0$ zeigt Fig. 5, von der ein Ausschnitt in vergrößertem Maßstab in Fig. 6 wiedergegeben ist. Als Abszisse ist jedesmal die Geschwindigkeit $v_{=}$ des Luftgleichstromes, als Ordinate die Widerstandsänderung ΔR aufgetragen. Die Überschneidungen der Kurven in dem Bereich kleiner Geschwindigkeiten dürften folgendermaßen zu erklären sein: Mit steigender Temperatur wird die warme Lufthülle, die den Draht umgibt, größer; bei kleinen Geschwindigkeiten wird sie bei höheren Temperaturen weniger leicht von dem Draht weggeblasen als bei niedrigen Temperaturen, wo sie eine verhältnismäßig geringere Ausdehnung hat. Also kann für kleine Geschwindigkeiten die Abkühlung bei hohen Temperaturen kleiner sein als bei niedrigen.

Die in Frage kommenden Kurvenstücke aus Fig. 5 sind in die Fig. 2 und 3 übertragen, aus denen sich nun das Verhältnis $v_{max}/v_{=}$ für gleiche ΔR

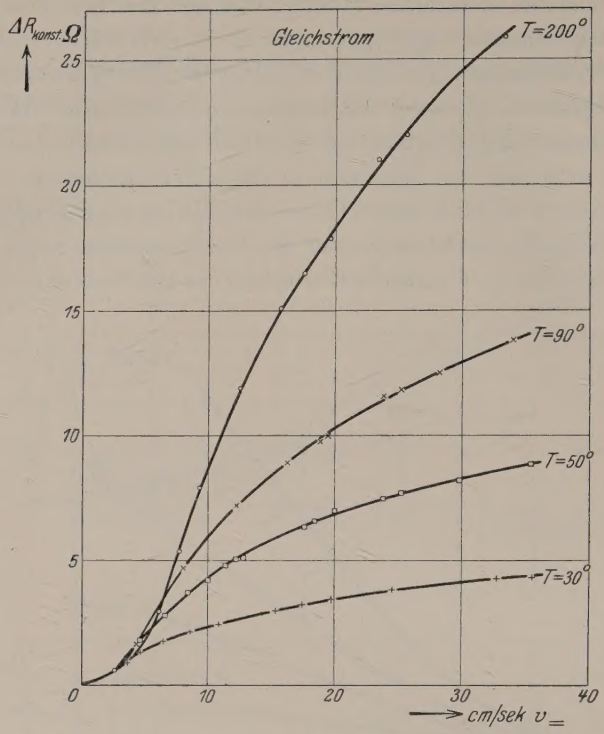
ΔR konst Ω
Gleichstrom
T=200°
T=90°
T=50°
T=30°
25
20
15
10
5
0
10
20
30
40
cm/sek v=

Fig. 5.

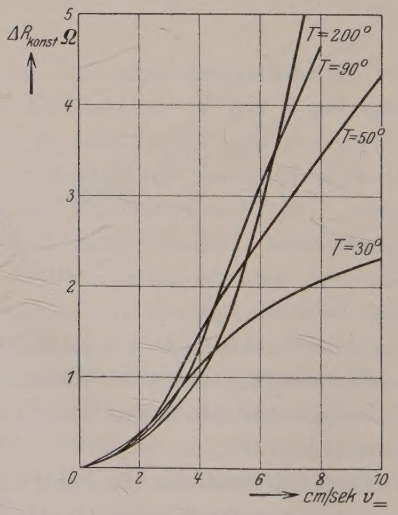
ΔR konst Ω
T=200°
T=90°
T=50°
T=30°
5
4
3
2
1
0
2
4
6
8
10
cm/sek v=

Fig. 6.

in bequemer Weise ablesen läßt. Innerhalb einer Frequenz ist es für verschiedene ΔR einigermaßen konstant. Die nachstehende Tabelle enthält einige Mittelwerte von $v_{max}/v_{=}$.

	$n = 512$	$n = 640$	$n = 768$
$T = 30^0$ . .	18,8	21,3	28,4
$T = 200^0$ . .	5,2	5,8	6,5

In Übereinstimmung mit den Ergebnissen von Goldbaum-Waetzmann (die z. B. für die Frequenz $n = 500$ und eine Drahttemperatur von 304^0 für den Wert von $v_{max}/v_{=}$ etwa 4 fanden) änderte sich das Verhältnis $v_{max}/v_{=}$ sowohl mit der Frequenz als auch mit der Temperatur, und zwar in dem Sinne, daß es um so kleiner wird, je höher die Temperatur und je niedriger die Frequenz wird. Höchstens bei sehr starker Heizung des Drahtes und bei niedrigen Frequenzen könnte es den Wert 1 erreichen.

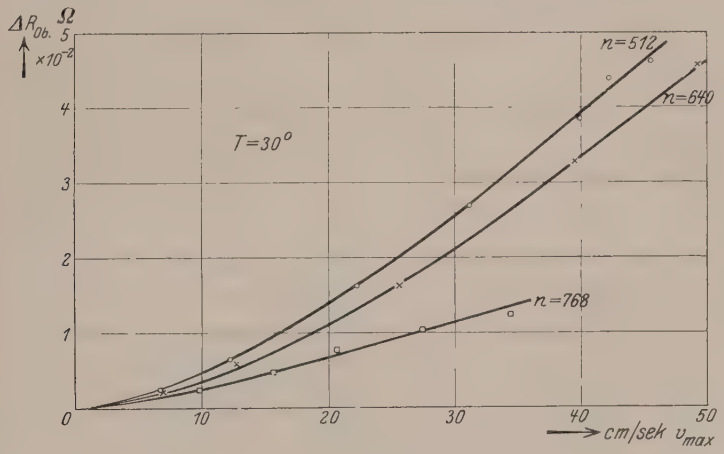

Fig. 7.

Die Frage, ob aus den Meßwerten des konstanten Kühleffektes auf Grund einer Gleichstromeichung die absolute Geschwindigkeitsamplitude in einer Schallwelle unmittelbar entnommen werden kann, ist also zu verneinen, weil der Zusammenhang zwischen v_{max} und $v_{=}$ bei gleichen ΔR im allgemeinen viel komplizierter ist, als man vielfach annimmt.

§ 4. Messung des periodischen Kühleffektes. a) Obertoneffekt. Der periodische Kühleffekt, insonderheit der Obertoneffekt, wurde in der vorliegenden Arbeit erstmalig absolut gemessen. Wie beim konstanten Effekt wurden auch hier zuerst Messungen längs der stehenden Schall-

welle ausgeführt. Dabei war die Drahttemperatur $T = 90^0$, die Frequenz $n = 640$, die Geschwindigkeitsamplitude $v_{max} = 42{,}8$ cm/sec. Auch hier zeigte die gewonnene Kurve den erwarteten Verlauf. Der Maximalwert der Widerstandsänderung im Schwingungsbauch betrug etwa $12 \cdot 10^{-2}$ Ohm;

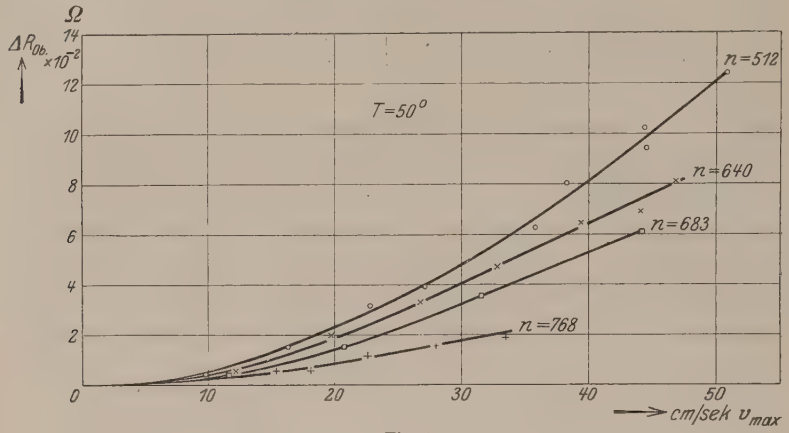

Fig. 8.

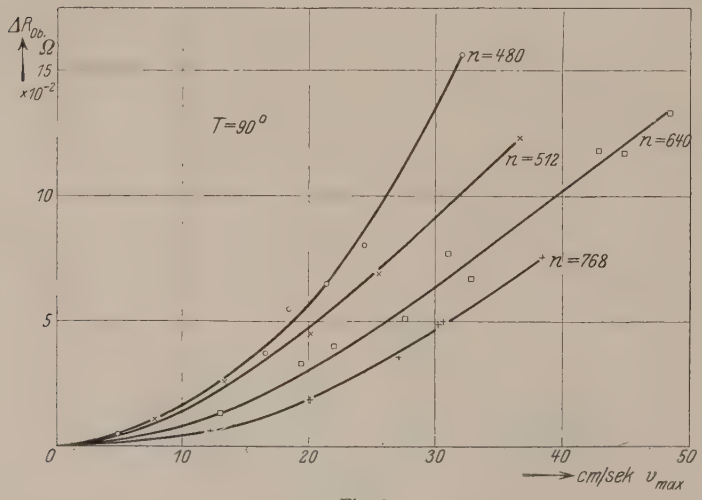

Fig. 9.

dem entspricht eine Temperaturänderung um 0,19°. Beim konstanten Kühleffekt hatte sich unter den gleichen Verhältnissen eine Widerstandsänderung von 2 Ohm, d. i. eine Temperaturänderung von 3,1°, ergeben.

Darauf wurde der Obertoneffekt bei den Frequenzen $n = 480$, 512, 640, 683, 768 — jedesmal im Schwingungsbauch — in Abhängigkeit von

der Geschwindigkeitsamplitude gemessen, und zwar bei den Drahttemperaturen $T = 30, 50, 90, 200^0$. Die Fig. 7 bis 10, in denen überall als Abszissen die Geschwindigkeitsamplituden im Schwingungsbauch und als Ordinaten die Widerstandsänderungen aufgetragen sind, geben den Befund bei den einzelnen Temperaturen wieder. Wie nach theoretischen Betrachtungen (Obertoneffekt $\Delta R_{\text{Ob.}} \sim \frac{v_{\max}^2}{2} \cdot \cos 2\omega t$) zu erwarten ist, verlaufen die Kurven parabelförmig.

Auch hier ist eine Frequenzabhängigkeit in demselben Sinne wie beim konstanten Kühleffekt festzustellen: Bei einer bestimmten Geschwindigkeits-

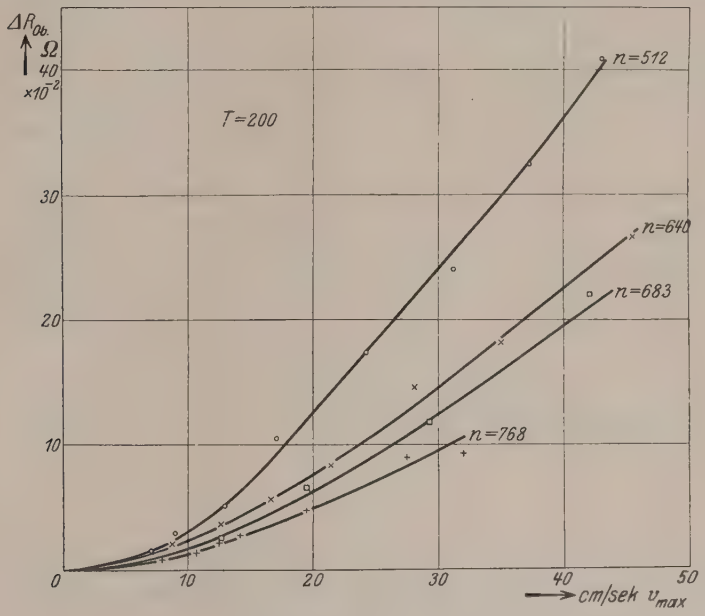

Fig. 10.

amplitude wird der Obertoneffekt mit wachsender Frequenz kleiner. Die Änderung des Obertoneffektes mit der Temperatur bei einer bestimmten Frequenz zeigt Fig. 11, die die Kurven $\Delta R_{\text{Ob.}} = f(v_{\max})$ für $n = 640$ und $T = 30, 50, 90, 200^0$ enthält. In den Messungen am Obertoneffekt sind noch gewisse Fehler infolge der nicht völligen Ausschaltung des Grundtoneffektes vorhanden. Dieser Fehler wird besonders groß bei hohen Temperaturen und kleinen Geschwindigkeitsamplituden; er dürfte in den vorliegenden Messungen maximal etwa 6% betragen. Der Obertoneffekt war unter den vorliegenden Bedingungen größenordnungsmäßig um eine Zehnerpotenz kleiner als der konstante Kühleffekt.

b) Grundtoneffekt. Hier war die Aufnahme von Kurven, die sich wie beim Obertoneffekt jederzeit reproduzieren ließen, unmöglich. Nach dem theoretischen Ansatz (Grundtoneffekt $\Delta R_{\mathrm{Gr.}} \sim 2 v_0 \cdot v_{\max} \cdot \sin \omega t$) wäre zu erwarten, daß die Kurven $\Delta R_{\mathrm{Gr.}} = f(v_{\max})$ gerade Linien sind. Unter besonderen Bedingungen (wenn man die Apparatur vorher einige Stunden nicht benutzte und dann die Meßpunkte innerhalb weniger Minuten hintereinander aufnahm, ohne zwischendurch die Vergleichsspannungen zu messen) wurden solche Geraden auch erhalten; sie ließen sich aber nicht reproduzieren. Selbst einzelne Punkte lagen vollkommen anders, wenn man sie etwa nach Beendigung einer Meßreihe noch einmal messen wollte.

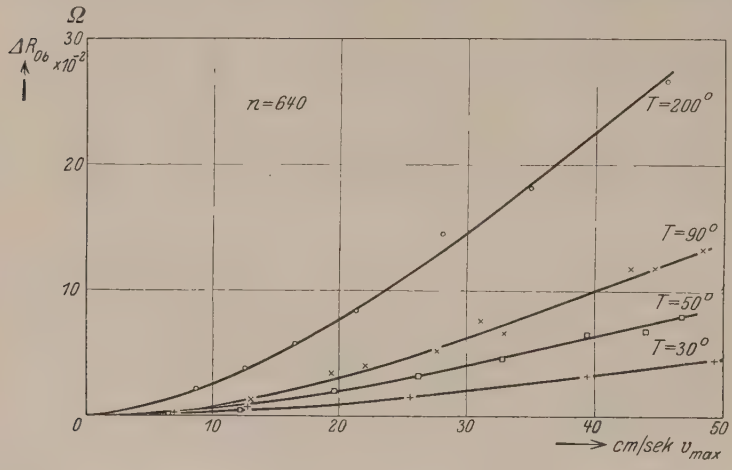

Fig. 11.

Demgegenüber waren die Messungen am Obertoneffekt, wenn sie mit dem gleichen Draht ausgeführt wurden, überraschend gut reproduzierbar. In den Fig. 7 bis 10 sind Punkte mit eingezeichnet, die mehrere Wochen nach den Hauptmessungen zur Kontrolle aufgenommen wurden.

Soweit der Grundtoneffekt überhaupt gemessen werden konnte, war eine Zunahme mit steigender Temperatur zu beobachten. Da er bei der hier beschriebenen Versuchsanordnung von vornherein als Störeffekt anzusehen ist, nimmt sein unregelmäßiges Verhalten nicht Wunder. Sein Auftreten liegt in einem zur Schallschwingung nicht senkrechten Abstreichen des Konvektionsstromes begründet. Das kann durch die verschiedensten Umstände verursacht sein. Die erwärmte Luft wird an den Rohrwänden reflektiert und muß seitlich ausweichen; ferner ist bekannt, daß bei stehenden Schallwellen in Röhren äußerst komplizierte Strömungserscheinungen auf-

treten. Deshalb wurde nach längeren vergeblichen Versuchen auf eine Messung des Grundtoneffektes verzichtet. Während also der Grundtoneffekt für Meßzwecke überhaupt nicht zu gebrauchen ist, kann man mit Hilfe des konstanten Kühleffektes und des Obertoneffektes quantitative Messungen in Schallwellen ausführen, wobei allerdings für absolute Messungen unter den angegebenen Bedingungen besondere Vorsichtsmaßregeln und recht komplizierte und umfangreiche Eichungen des Hitzdrahtes erforderlich sind.

Für mehrfache Hilfeleistung bei der vorliegenden Arbeit haben wir Herrn Dr. K. Schuster zu danken. Herr cand. phys. Biczysko hat umfangreiche Messungen über die Eichung von Hitzdrähten mit Luftgleichstrom ausgeführt. H. Müller hat Messungen anderer Autoren, namentlich diejenigen von Richards an Hitzdrähten, die an Stimmgabeln befestigt waren, wiederholt und wesentlich erweitert. Da sich hierbei nichts ergeben hat, was unseren Resultaten irgendwie widerspricht, wird von einer Publikation abgesehen.

Für die Bereitstellung der zur Durchführung der Arbeit erforderlichen Mittel haben wir dem Elektrophysikausschuß der Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft, der Helmholtz-Gesellschaft und dem Kaiser Wilhelm-Institut für Physik herzlich zu danken.

Breslau, Physikal. Institut der Technischen Hochschule, 24. März 1930

Lebenslauf

Am 22. Februar 1904 wurde ich, Hans Müller, als Sohn des Verwaltungsdirektors Richard Müller und seiner Ehefrau Gertrud, geb. Engelmann, zu Breslau geboren. Von Ostern 1910 ab besuchte ich das Realgymnasium zum heiligen Geist in Breslau, an dem ich am 22. März 1922 die Reifeprüfung bestand. Da ich die Absicht hatte, Maschinenbau zu studieren, widmete ich mich vom 1. April 1922 bis zum 30. September 1923 der Ausbildung als Werkstättenpraktikant bei der Linke-Hofmann-Lauchhammer-A.-G., Werk Breslau. Im Oktober 1923 wurde ich an der Technischen Hochschule zu Breslau immatrikuliert und studierte im 1. Semester Maschinenbau, vom 2. Semester ab Physik. Vom 20. September bis 28. Oktober 1926 nahm ich Gelegenheit, in der unter Leitung von Prof. Prandtl stehenden Aerodynamischen Versuchsanstalt zu Göttingen als Volontär zu arbeiten. Am 28. Juni 1926 bestand ich die Diplom-Vorprüfung und am 24. Mai 1928 die Diplom-Hauptprüfung an der Technischen Hochschule zu Breslau. Meine wissenschaftliche Ausbildung erhielt ich hauptsächlich bei den Herren Professoren Waetzmann, Noether, Schmeidler, Eucken, Mann, Hilpert.

Die vorliegende Arbeit wurde in dem unter Leitung von Professor Dr. E. Waetzmann stehenden Physikalischen Institut der Technischen Hochschule zu Breslau ausgeführt, an dem ich seit dem 1. Mai 1927 als außerplanmäßiger Assistent tätig bin.